

УДК 624.131

**ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ТОМИ**

Э.Ш. Абдель Азиз, В.Ю. Жабин, В.В. Крамаренко

Томский политехнический университет

E-mail: Kramarenko@mail.ru

Приведены результаты лабораторных исследований состава и физических свойств грунтов территории нижнего течения р. Томи, проведена их классификация. На основе расчетов и согласно рекомендациям действующих нормативных документов выявлены специфические особенности грунтов: способность к набуханию, пучению и просадке, дан предварительный прогноз деформационных характеристик.

**Ключевые слова:**

Грунты, характеристики физических свойств, предварительный прогноз, набухание, морозное пучение, просадка и деформационные характеристики.

**Key words:**

Soil, characteristic of physical properties, preliminary forecast, swelling, frost heaving, subsiding and deformations characteristics.

Физические свойства грунтов являются важнейшим предметом инженерно-геологических исследований и необходимы как для общей инженерно-геологической характеристики территории строительства, так и для прогнозирования прочности (устойчивости) и деформируемости массивов грунтов, в том числе слагающих основания инженерных сооружений. В районе нижнего течения р. Томи уже проходили детальные исследования грунтов [1–3] и если территория г. Томска и прилегающие районы изучены довольно подробно с инженерно-геологических позиций, то малонаселенные районы области исследуются изыскательскими организациями конкретно под строительство определенных объектов. Целью данной работы является изучение состава и характеристик физических свойств грунтов неосвоенных районов нижнего течения р. Томи, выявление специфических грунтов и прогноз возможности развития инженерно-геологических процессов, таких как пучение, просадка, набухание.

Знание показателей физических свойств позволяет на начальных этапах изысканий прогнозировать механические свойства, используемые в расчетах проектировщиков, т. к., согласно требованиям действующих нормативных документов [4], для предварительных расчетов оснований сооружений I и II уровней ответственности, а также для окончательных расчетов оснований сооружений III уровня ответственности и опор воздушных линий электропередачи, независимо от их уровня ответственности, допускается определять нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов по таблицам нормативных документов в зависимости от их физических характеристик, а при соответствующем обосновании допускается использовать таблицы для окончательных расчетов сооружений II уровня ответственности (технически несложные сооружения, сооружения, малочувствительные к деформациям основания, и др.).

Задачи исследования включали определение

значений показателей состава и основных физических свойств грунтов, прогноз механических свойств и выявление специфических грунтов.

Для решения поставленных задач проводилось опробование неглубоких скважин, шурфов и обнажений на наиболее интересных с инженерно-геологической точки зрения участках, в основном, на территориях проявления экзогенных процессов. Были определены: гранулометрический состав песчаных грунтов, плотность  $\rho$ , плотность твердых частиц  $\rho_s$ , плотность скелета  $\rho_d$ , влажность  $w$ , влажность на пределе раскатывания и текучести  $w_L$  и  $w_p$  глинистых грунтов, рассчитан коэффициент пористости  $e$ . Для торфов были определены такие показатели как зольность, ботанический состав и степень разложения.

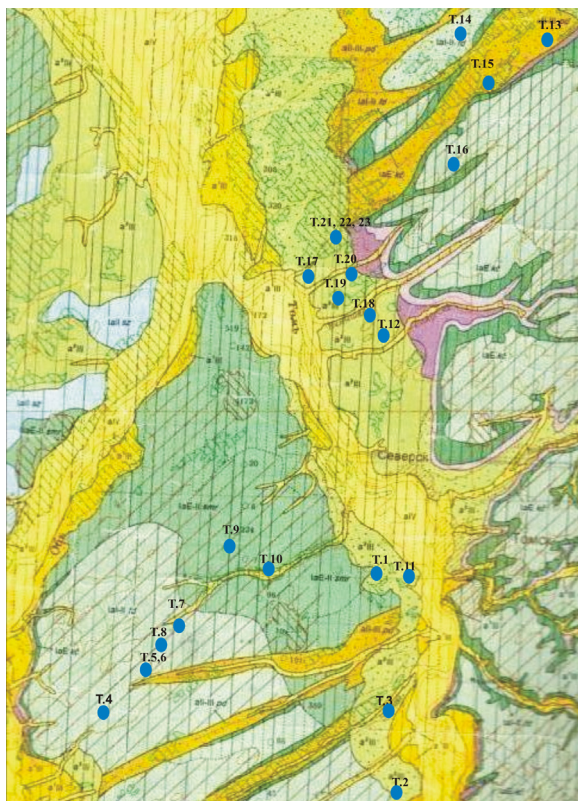
Лабораторные работы проводились на основе действующих методик определения характеристик состава и физических свойств грунтов [5–9]. Выявление специфических грунтов на исследуемой территории велось при помощи следующих источников: относительная набухаемость и относительная просадочность под нагрузками определялись по таблицам для предварительных определений СП 11-105-97 [10] по значениям влажности, коэффициентов пористости и плотности скелета. Относительная деформация пучения глинистых грунтов  $\varepsilon_f$  определялась по значениям параметра  $R_f$ , который рассчитывается согласно требованиям рекомендаций [9], и эти значения можно использовать для расчетов сооружений III уровня ответственности. В зависимости от интенсивности пучения  $\varepsilon_f$  все пучинистые пылевато-глинистые грунты подразделяются по параметру  $R_f$  на пять групп. Принадлежность глинистого грунта к одной из групп оценивается параметром  $R_f$ , определяемым по формуле:

$$R_f = 0,012(w - 0,1) + \frac{w(w - w_{cr})^2}{w_L w_p \sqrt{M_0}},$$

где  $w$  — влажность в пределах слоя промерзающего грунта, соответствующая природной влажности,

д. ед.;  $w_{cr}$  — расчетная критическая влажность, ниже значения которой, прекращается перераспределение влаги в промерзающем грунте, д. ед. (определяется по графику в зависимости от зависимости от числа пластичности и влажности на пределе текучести  $w_L$ );  $M_0$  — безразмерный коэффициент, равный при открытой поверхности промерзающего грунта абсолютному значению среднезимней температуры воздуха, принимается по СНиП 2.02.01-83.

Механические свойства торфяных грунтов оценивались по таблицам [11, 12], определение прочностных и деформационных характеристик песков и глинистых грунтов проводилось по таблицам СП 50-101-2004 [4]. Образцы глинистых грунтов были исследованы в лаборатории на возможность набухания по методике [14]. Полученные материалы стали основой базы данных, которая будет в дальнейшем пополняться.



**Рисунок.** Карта-схема района работ (автор В.Н. Сильвестров, 1997 г.): ● — точки опробования

Исследуемая территория включает северную часть Обь-Томского и западную часть Томь-Чулымского междуречья (рисунок). Верхняя часть разреза представлена различными стратиграфо-генетическими комплексами пород четвертичной системы. Условия их залегания, распространения, состав, состояние зависят от возраста и генезиса и, в целом, создают довольно разнородную картину. Опробование производилось в 23 точках исследуемой территории, всего было отобрано 146 образцов грунта из отложений четвертичного возраста: из пойменных (*aIV*), озерно-болотных (*lbIV*),

аллювиальных второй надпойменной террасы (*a<sup>2</sup>III*), а также из пайдугинской (*aII-III pd*), Федосовской (*laI-II fd*) и смирновской (*laE-I smr*) свит.

Маршрутные исследования, проведенные сотрудниками Томского политехнического университета, показали, что на территории нижнего течения р. Томи распространены такие экзогенные процессы, как оврагообразование и речная эрозия, оползневые процессы, а также процессы заболачивания, обусловленные влиянием подземных и поверхностных вод. Эрозионные процессы проявляются ограничено, в разных формах, и продолжаются не один десяток лет. Основными факторами, способствующими их развитию, являются: легкая разрываемость рыхлых несвязных грунтов, наличие временных водотоков, уклоны водораздельных склонов более  $7...10^\circ$ , удаление дерна и строительство редких грунтовых дорог, которые становятся непроходимыми из-за многочисленных глубоких промоин. Согласно СНиП 22-01-95, экзогенные процессы не попадают в категорию опасных, тем не менее, по скорости развития овражной эрозии на отдельных участках, степень ее проявления можно отнести к умеренно опасной ( $1...5$  м/год). Наиболее широкое развитие в поймах и на террасах правобережья получили процессы заболачивания и торфяные отложения, являющиеся слабыми специфическими грунтами. Большинство торфяных массивов относятся к переходному типу, в поймах и долинах рек чаще встречаются низинные болота. Верховые болота и участки с олиготрофными комплексами растительности встречаются значительно реже на террасах и водоразделах. Таким образом, болота в основном находятся на 1 и 2 стадиях развития и продолжают развиваться.

**Озерно-болотные отложения (*vIV*)** представлены, главным образом, торфяными грунтами всех типов, малозольными, степень разложения различная, в основном торфа среднеразложившиеся, сфагновые торфа чаще слаборазложившиеся. Результаты определения характеристик физических свойств показали, что значения влажности торфяных грунтов изменяются от 5,88 до 33,16 д. ед., среднее значение — 19,52 д. ед., если исключить максимальные значения, полученные для сфагновых залежей верховых болот, получится, что значения влажности изменяются от 5,88 до 19,45 д. ед., среднее значение — 8,66 д. ед. Эти данные наиболее характерны для торфяных грунтов на участках переходных и низинных типов залежи.

Таким образом, все образцы торфа относятся к очень влажным и избыточно влажным, следовательно, по прочности они относятся ко 2 и 3 строительным типам [12], т. е. при нагрузках от сооружений происходит частичное или полное выдавливание торфяных отложений под насыпью или фундаментом в зависимости от скорости нагружения. Нормативные значения коэффициента фильтрации торфа в естественном залегании предварительно определяются по степени разложения торфа по таблице СП 11-105-97 [10]. У древесного торфа

**Таблица.** Характеристики физических свойств грунтов

Стратиграфо-генетический комплекс пород	Название грунта	Влажность, $w$ , %	Влажность на пределе текучести, $w_L$ , %	Влажность на пределе раскатывания, $w_p$ , %	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность твердых частиц, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>
Озерно-болотные отложения (bIV)	Торф	$\frac{8,66}{5,88...19,45}$	н/о	н/о	–	$\frac{1,57}{1,23...1,89}$
Аллювиальные отложения поймы (aIV)	Супеси	$\frac{18,20}{13,4...22,50}$	$\frac{27,62}{26,62...28,62}$	$\frac{21,15}{19,90...22,15}$	–	$\frac{2,60}{2,53...2,73}$
	Суглинки	$\frac{27,60}{20,90...31,60}$	$\frac{31,60}{30,57...34,85}$	$\frac{22,2}{20,80...23,37}$	–	$\frac{2,63}{2,53...2,71}$
Верхнечетвертичные аллювиальные отложения второй надпойменной террасы (a <sup>2</sup> III)	Пески	$\frac{6,03...38,0}{}$	н/о	н/о	–	$\frac{2,53...2,69}{}$
	Супеси	$\frac{27,2}{20,10...32,80}$	$\frac{32,4}{28,5...35,40}$	$\frac{28,11}{23,31...32,82}$	–	$\frac{2,56}{2,48...2,64}$
	Суглинки	$\frac{27,8}{19,10...31,90}$	$\frac{36,53}{35,04...39,48}$	$\frac{26,50}{24,56...28,68}$	–	$\frac{2,56}{2,48...2,64}$
Средне-верхнечетвертичные отложения пайдунской свиты (IaII-IIIpd)	Пески	$\frac{27,8}{12,2...39,0}$	н/о	н/о	$\frac{1,55}{1,41...1,69}$	$\frac{2,61}{2,52...2,67}$
Нижне-среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения федосовской свиты (IaI-IIfd)	Пески	$\frac{7,13}{2,0...21,3}$	н/о	н/о	$\frac{1,58}{1,22...1,93}$	$\frac{2,60}{2,53...2,65}$
	Суглинки	$\frac{12,3}{9,36...16,4}$	$\frac{33,29}{30,51...38,10}$	$\frac{24,04}{23,19...25,42}$	$\frac{1,38}{1,15...1,76}$	$\frac{2,57}{2,53...2,69}$
Эоплейстоцен-нижнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения смирновской свиты (IaE-IIsmr)	Суглинки	$\frac{25,8}{24,2...25,90}$	$\frac{26,60}{26,57...27,62}$	$\frac{17,90}{17,56...19,25}$	$\frac{1,70}{1,66...1,74}$	$\frac{2,4}{2,29...2,46}$

Н/о – показатель для данного грунта не определяется; «–» характеристика не была определена в ходе исследований.

со степенью разложения 40 % коэффициент фильтрации – 0,002 м/сут, у торфяного очеса и у сфагнового торфа со степенью разложения до 20 % от 0,2 до 5,0 м/сут, у всех остальных видов со степенью разложения от 20 до 30 %, что наиболее типично для торфов района правобережья, – от 1,8 до 8,0 м/сут. Механические свойства торфяных грунтов предварительно можно оценить по классификации для дорожного строительства [12]. Торф очень влажный будет иметь модули деформации при нагрузках 49 и 98 кПа в интервалах, соответственно, 108...88 и 186...167 кПа, модуль осадки 400...470 и 500...550 мм/м. Торф избыточно влажный будет иметь модули деформации при нагрузках 49 и 98 кПа в интервалах, соответственно, 85...90 и 150...170 кПа, модули осадки 470...490 и 550...570 мм/м и выше.

Определив недренированную прочность  $c_u$  торфов для исходной влажности (для очень влажного торфа  $c_u$  равна 8...12 кПа и для избыточно-включенного – менее 8 кПа [12]), можно определить проходимость техники по классификации Л.С. Амаряна [13]. Условия проходимости торфяных залежей на площадках относятся к тяжелым и особым: в первом случае возможен проезд специальной болотной техники с удельным давлением на грунт менее 15 кПа; в особых условиях возможен проезд плавучей гусеничной техники или машин с арочными многокатковыми шинами, проезд обеспечен в зимнее время. Результаты полевого зондирования при помощи крыльчатки показали, что прочностные характеристики торфа низинных залежей изменяются от 7,1 до 44 кПа, максимальные значения получены в древесных торфах. В верховых торфах значения  $c_u$  варьируют от 4,0 до 18,5 кПа. Следова-

тельно, прогноз  $c_u$  по влажности дал несколько заниженные результаты.

Таким образом, к специфическим особенностям торфяных грунтов данной территории относятся: высокая пористость и влажность; малая прочность и большая сжимаемость (часто за счет разложения в зоне аэрации малоразложившихся торфяных и древесных торфов); высокая гидрофильность (особенно для сфагновых торфов). Эти особенности позволяют оценивать рассматриваемые грунты как малопригодные для строительства.

Аллювиальные отложения пойм (aIV) представлены в основном глинистыми грунтами. Супеси по показателю текучести твердые, по показателю  $R_f$  грунты относятся к слабопучинистым и практически непучинистым. Суглинки по показателю текучести твердые, туго-, мягкопластичные и текучие; по показателю  $R_f$  относятся к слабо- и среднепучинистым до глубины 2,5 м, и к сильнопучинистым на глубинах более 2,5...3 м (что менее опасно, так как глубина промерзания в районе работ приблизительно составляет 2,3...2,4 м).

Верхнечетвертичные аллювиальные отложения второй надпойменной террасы (a<sup>2</sup>III) сложены песчаными и глинистыми грунтами. Песчаные грунты представлены мелкими, средними и крупными разновидностями. Степень неоднородности гранулометрического состава варьирует от 2,0 до 3,2, следовательно, в основном грунты однородные. Супеси по показателю текучести твердые и пластичные, суглинки туго- и мягкопластичные. Исследованные глинистые грунты отложений второй террасы по показателям физических характеристик не относятся к просадочным. По показателю  $R_f$  грунты являются слабопучинистыми до глубины



1,0 м, на глубинах более 1,0 м грунты относятся к среднепучинистым, и даже к сильнопучинистым. Предварительный прогноз характеристик механических свойств показал что, глинистые отложения второй надпойменной террасы имеют модуль деформации – 250 кПа, угол внутреннего трения равен  $23^\circ$ , а сцепление – 34 кПа.

*Средне-верхнечетвертичные отложения пайду-гинской свиты (laII-IIIpd)* представлены песчаными грунтами средней крупности, плотность скелета грунта составляет  $1,33...1,51 \text{ г/см}^3$ , в среднем –  $1,41 \text{ г/см}^3$ ; по коэффициенту водонасыщения грунты являются в малой степени водонасыщенными ( $28,5...39,2$ , среднее значение –  $34,2$ ). Согласно ГОСТ 25100-95 [9], по показателям  $e$  и  $\rho_d$  – это рыхлые разновидности грунтов, и в таком состоянии они неблагоприятны для строительства.

*Нижне-среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения федосовской свиты (laI-IIfd)* представлены песчаными и глинистыми отложениями. Коэффициент пористости для них изменяется в диапазоне от 0,66 до 1,12 д. ед., среднее значение – 0,82 д. ед., плотность скелета грунта составляет  $1,21...1,61 \text{ г/см}^3$ , среднее значение – 1,45. *Песчаные отложения* представлены крупными, средними и мелкими разновидностями. По кривым гранулометрического состава пески относятся к несортированным и сортированным разновидностям; по коэффициенту водонасыщения – к разновидностям с малой степенью водонасыщения. Согласно ГОСТ 25100-95 [9], пески по показателям  $e$  и  $\rho_d$  находятся в рыхлом состоянии и состоянии средней плотности и, следовательно, неблагоприятны для строительства. Для песчаных отложений федосовской свиты механические свойства предварительно характеризуются следующими величинами: модуль деформации имеет значения – 270...300 кПа, сцепление – 1 кПа, угол внутреннего трения –  $35...38^\circ$ .

*Суглинки* по показателю текучести твердые, коэффициент пористости составляет 0,70...1,34 д. ед., среднее значение – 1,09 д. ед., плотность скелета грунта –  $1,26...1,63 \text{ г/см}^3$ , среднее значение –  $1,37 \text{ г/см}^3$ ; коэффициент водонасыщения –  $0,21...0,60 \%$ , среднее значение –  $0,31 \%$ . По показателю  $R_f$  суглинки относятся к слабо- и среднепучинистым. При дополнительной нагрузке глинистые грунты в полученных интервалах значений влажности и коэффициентах пористости могут давать просадку: при 0,1 МПа относительная просадочность составит от 0,004 до 0,033 д. ед., при 0,2 МПа – от 0,008 до 0,066 д. ед., при 0,3 МПа – от 0,010 до 0,085 д. ед. Величина свободного набухания  $\varepsilon_{sw}$  при полученных интервалах значений плотности скелета и влажности грунта до 12 % будет от 0,02 до 0,08 д. ед., т. е. глинистые грунты будут слабонабухающими.

*Эоплейстоцен-нижнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения смирновской свиты (laE-IIsmr)* представлены суглинками текучепластичными. Значения коэффициента пористости изменяются в пределах от 0,68 до 0,85 д. ед., среднее значение

– 0,77 д. ед., плотность скелета грунта имеет значения  $1,33...1,42 \text{ г/см}^3$ , среднее значение –  $1,36 \text{ г/см}^3$ . Степень водонасыщения для данных отложений составляет  $0,76...0,85$  д. ед. По показателю  $R_f$  грунты относятся к слабопучинистым. Предварительная оценка механических свойств глинистых отложений смирновской свиты показала, что модуль деформации отложений равен 170 кПа, угол внутреннего трения составляет  $19^\circ$ , а сцепление – 25 кПа. При дополнительной нагрузке глинистые грунты при полученных значениях влажности и коэффициенте пористости  $0,8...0,9$  д. ед. могут давать просадку: при 0,1 МПа относительная просадочность составит от 0,004 до 0,008 д. ед., при 0,2 МПа – от 0,008 до 0,017 д. ед., при 0,3 МПа – от 0,011 до 0,022 д. ед. При полученных интервалах значений плотности скелета и влажности (таблица) грунты не являются набухающими.

Все образцы глинистых грунтов были обследованы также на склонность к свободному набуханию согласно методике [14], в соответствии с которой сухой грунт в количестве 30 мг просеивается через сито 0,425 мм и затем засыпается в мерную колбу объемом 100 мл. Грунт заливается дистиллированной водой и тщательно перемешивается, чтобы не осталось пузырьков воздуха, после этого добавляется вода до 100 мл объема. Грунт выдерживается в течение суток при комнатной температуре, после чего определяется его объем после набухания. За конечный результат принимается среднее значение относительного изменения объема набухания грунта  $\varepsilon_{sw}$ , выраженное в процентах, полученное в результате трех опытов.

По полученным результатам грунты согласно классификации [14] подразделяются на 3 группы:

1.  $\varepsilon_{sw} < 50 \%$  – грунты не склонны к набуханию, и строительство сооружений на таких грунтах не вызовет проблем;
2.  $50 \% < \varepsilon_{sw} < 100 \%$  – грунты относятся к набухающим, и при строительстве возможны проблемы;
3.  $\varepsilon_{sw} > 100 \%$  – грунты являются чрезвычайно набухающими, и сооружения на таких грунтах подвержены риску серьезных деформаций.

Данная методика позволяет оценить всю амплитуду набухания грунта и его склонность к усадке, начиная от его сухого состояния, а не от состояния природной влажности при отборе образца [15], которая в приповерхностных слоях изменяется с изменением уровней грунтовых вод и инфильтрацией осадков. В России есть аналогичные способы определения набухаемости грунтов, но они не являются обязательными. Результаты исследований показали, что средние величины свободного набухания, определенные по методике [14], для отложений поймы изменяются от 36,7 до 40,0 %, для глинистых отложений второй надпойменной террасы составляют 26,7...40,0 %, для отложений федосовской свиты значение величины свободного набухания составляет 26,7...73,3 %, отложения смирновской свиты имеют среднюю вели-

чину свободного набухания 70 %. Таким образом, максимальные значения показателей свободного набухания определены для глинистых отложений смирновской и федосовской свит (70,0 и 73,33 %), что позволяет отнести их к средненабухающим. Нужно отметить, что грунты смирновской толщи, согласно [9], были оценены как ненабухающие именно из-за их высокой естественной влажности, следовательно, при дегидратации грунта возможны также процессы усадки.

#### Выводы

Результаты исследований позволили дополнить новыми данными ранее проведенные работы, оценить состав и физические свойства грунтов территории нижнего течения р. Томи, выявили ряд осо-

бенностей исследованных грунтов, которые делают их неблагоприятными при использовании в качестве оснований сооружений. Анализ полученных данных показал, что к пучению склонны все глинистые грунты, к набуханию-усадке и просадке — отложения федосовской и смирновской свит, пески пайдугинской свиты относятся к рыхлым разновидностям, торфяные отложения характеризуются высокой влажностью и деформируемостью под нагрузками, низкой прочностью и являются труднопроходимыми для техники. Эти особенности позволяют оценить их как грунты специфические, что требует более детальных исследований при проведении изысканий, дополнительных расчетов при проектировании и соответствующих мероприятий при строительстве сооружений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмадшин Н.Ю., Бирюков В.Г., Горюхин Е.Я. Очерки истории работ Томской геологоразведочной экспедиции за 50 лет. — Томск: Изд-во ЦНТИ, 1999. — 64 с.
2. Строкова Л.А. Характеристики лессовых пород Томской области // Известия Томского политехнического университета. — 2003. — Т. 306. — № 6. — С. 32–35.
3. Крамаренко В.В., Емельянова Т.Я. Характеристика физических свойств верховых торфов Томской области // Вестник Томского государственного университета. — 2009. — № 322. — С. 265–272.
4. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
5. ГОСТ 12536-79. Методы лабораторного определения гранулометрического и микроагрегатного состава.
6. ГОСТ 28245-89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения.
7. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.
8. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
9. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.
10. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов.
11. ВСН 29-85. Проектирование мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных сельских зданий на пучинистых грунтах. — М.: Минсельстрой, 1985. — 28 с.
12. Пособие к СНиП 2.05.02-85 «Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах». — М., 2004.
13. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. — М.: Недра, 1990. — 220 с.
14. Египетский кодекс механики грунтов и фундаментов в разработке и реализации № 202. 2001 г. Научно-исследовательский центр для жилищного строительства.
15. ГОСТ 24143-80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки.

*Поступила 15.03.2011 г.*